

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

ŽELEZOBETONOVÁ KONSTRUKCE NÁDRŽE
REINFORCED CONCRETE TANK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

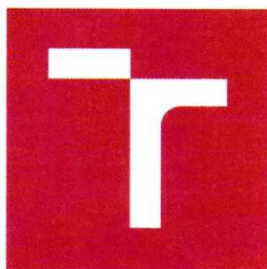
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jakub Beran

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	B3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
PRACOVISŤE	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

STUDENT	Jakub Beran
NÁZEV	Železobetonová konstrukce nádrže
VEDOUCÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE	Ing. Pavel Šulák, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	30. 11. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Stavební podklady

Platné normy:

- ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1 až 4: Zatížení stavebních konstrukcí
- ČSN EN 1992 - 1-1 Navrhování betonových konstrukcí

Další potřebná literatura po dohodě s vedoucím bakalářské práce.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Student v rámci bakalářské práce vypracuje statické řešení železobetonové nádrže. Řešení provede pomocí dostupného programového systému MKP. Dále provede kontrolu výsledků pomocí vhodné zjednodušené ruční metody. Práce bude obsahovat dimenzování vybrané části konstrukce (určí vedoucí práce), výkres tvaru a výztuže dimenzované části. Práce bude vypracována v rozsahu vědomostí, které odpovídají znalostem posluchače bakalářského studijního programu. Rozsah bude upřesněn vedoucím práce.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

- P1. Výkresy tvaru a výztuže (v rozsahu určeném vedoucím práce).
- P2. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x)

Popisný soubor závěrečné práce (1x)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Pavel Šulák, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Předmětem bakalářské práce je vypracování statického řešení železobetonové nádrže. Stanovení vnitřních sil pomocí metody konečných prvků v programu Scia Engineer 16.1, kdy byla použita interakce s podložím a porovnání těchto sil ruční metodou. Na základě těchto sil je provedeno dimenzování nosných prvků konstrukce.

Je proveden posudek na 1. Mezní stav únosnosti a na 2. Mezní stav použitelnosti – mezní stav trhlin. Dále je proveden posudek na vyplavání nádrže při výskytu hladiny podzemní vody na upravený terén. Do výpočtu se uvažuje s rozdílnou počáteční dobou betonáže základové desky a stěn, která ovlivňuje vnitřní síly od nerovnoměrného smršťování betonu.

Cílem bylo navrhnout nádrž bez vzniku trhlin v betonu, kdy maximální dovolená šířka trhlin byla stanovena na $w_k = 0,3$ mm dle EC 1992-1-1.

KLÍČOVÁ SLOVA

Železobeton, nádrž, beton, výztuž, betonářská ocel, SOILIN, trhliny, omezení napětí, vyplavání

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is a static design of an reinforcement tank. The internal forces are calculated by FEM programme Scia Engineer 16.1 with a SOILIN modul interacting with a subsoil model. The internal forces are verified by a manual calculation. The load-bearing elements are designed with these forces.

The structural assessment report is designed to ultimate limit state and service limite state – service limit state of crack. Another report considers ground water occurring. The static report deals with different time of concreting foundation slab and walls. This is the reason why shrinkage is very important for internal forces and their values.

The objective of the project is to design the tank without cracks in concrete. The limit width of cracks is $w_k = 0,3 \text{ mm}$ by EC 1992-1-1.

KEYWORDS

Reinforcement concrete, tank, concrete, reinforcement steel, SOILIN, crack, reduce tensile stress

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Jakub Beran *Železobetonová konstrukce nádrže*. Brno, 2017. 18 s., 59 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. Pavel Šulák, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2017

Jakub Beran
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Pavlovi Šulákovi, Ph.D. za ochotu a přístup na konzultacích, připomínky a rady. Dále bych chtěl poděkovat rodině a přítelkyni za podporu během studia.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

TEXTOVÁ ČÁST

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Jakub Beran

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PAVEL ŠULÁK, Ph.D.

BRNO 2017

OBSAH:

1. Úvod.....	11
2. Popis konstrukce nádrže	11
3. Základové poměry	12
4. Zatížení	13
5. Materiál	13
6. Závěr	14
Použitá literatura	15
Použitý softwear	15
Použité značky	16
Seznam příloh	18

1. Úvod

Zadáním bakalářské práce je vypracování návrhu a posouzení výztuže železobetonové konstrukce nádrže. Nádrž slouží jako zásobník na užitkové vody, který se nachází v průmyslovém areálu, o půdorysných rozměrech 5100 x 9200 mm, celkové výšce 3450 mm a světlé výšce 3000 mm. Zastropení je řešeno stropními předem předpjatými panely Spiroll PPD 219, které nejsou součástí řešení práce. Objekt je zcela zasypán. Kdy výškové úrovně jsou následující: základová spára je -3,950 m, horního povrch základové desky (dna) a paty stěn je -3,700 m, vrchol stěn a uložení panelů je -0,700 m a celkově se vrchol objektu nachází -0,500 m pod povrchem upraveného terénu. Nádrž je řešena jako bezodtoková a má vnitřní objem 97,2 m³, kdy výška hladiny může dosahovat plné výšky nádrže, tudíž je dovoleno plné zaplavení vodou. Je také počítáno s přetížením dopravy od středně těžkých vozidel (nákladní automobil). Výstupem práce je navrhnout výztuž, tak aby byly splněny požadavky na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti – mezní stav trhlin s omezenou šířkou trhlin 0,3 mm. Pro vytvoření modelu a stanovení vnitřních sil byl použit softwar Scia Engineer 16.1. s použitím modulu SOILIN na interakci s podložím. Je vypracován statický výpočet s ručním ověřením vnitřních sil které jsou porovnány s výsledky ze statického softwaru a dále výkres tvaru a výkres výztuže zadaného objektu.

2. Popis konstrukce nádrže

Řešená konstrukce je monolitická železobetonová nádrž na užitkovou vodu v průmyslovém areálu. Celý objekt je zcela zasypán 0,5 m pod upravený terén a úroveň základové spáry je -3,950 m. Jedná se o systém tzv. bílé vany, konstrukce je navržena z betonu C30/37, třída prostředí XD2 – mokré, zřídka suché prostředí. Třída prostředí byla zvolena s ohledem na funkci a náplň nádrže kdy nejsou vyloučeny chloridy, ale neočekává se agresivní prostředí. Půdorysné rozměry základové desky (dna) jsou 5100 x 9200 mm a vnější půdorysné rozměry stěn jsou 4500 x 8600 mm, výška stěn je 3000 mm. Tloušťka desky a stěn je totožná, 250 mm. Zvětšené půdorysné rozměry desky vůči stěnám jsou navrhnuty z hlediska posudku na vyplavání nádrže při výskytu podzemní vody tak, aby bylo zabráněno vyplavání

nádrže. Zakrytí je řešeno stropními předem předpjatými panely Spiroll PPD 219, tloušťky 200 mm a délek 4300 mm a 3550 mm. Vstupní otvor 1200 x 600 mm pro údržbu, přívod a odvod vody a instalaci ponorného čerpadla je řešen zkrácením jednoho stropního panelu a ocelovou výměnou opatřenou protikorozi ochranou na celou šířku panelu (viz. výkresová dokumentace). Rozměrově objekt odpovídá středně vysoké nádrži. Pod základovou deskou nádrže bude zhotoven podkladní beton tloušťky 100 mm z betonu c 12/15, dále bude vybetonována základová deska a bude 5 dnů ošetřována. Po 14 dnech od vybetonování desky budou vybetonovány stěny a budou ošetřovány 5 dnů. Stěny jsou řešeny jako vetknuté do dna nádrže a zastropení panely je prostě podepřeno na úložnou délku 150 mm, zbylý pás 100 mm po celém obvodu bude zhotoven dobetonávkou po osazení stropních panelů. Vstupní otvor bude osazen plastovou šachtou a celý povrch zastropení nádrže bude izolován hydroizolací, s napojením na izolaci plastové šachty. Hydroizolace zastropení bude překrývat svislé stěny minimálně o 700 mm. Při výpočtu bylo uvažováno podloží (viz. statický výpočet a sekce č. 3.) s hladinou podzemní vody nenacházející se v dosahu nádrže. Návrh výztuže byl proveden na mezní stav únosnosti a byl ověřen mezní stav použitelnosti – mezní stav trhlin, $w_k=0,3$ mm (dle ČSN EN 1992-3 a ČSN EN 1992-1-1). Nádrž je navržena na třídu nepropustnosti 0 (jistý stupeň průsaku se připouští nebo je průsak kapalin irelevantní). Pracovní spára mezi deskou a stěnami bude opatřena systémovým těsnícím pásem KAB 150, který bude osazen před betonáží 50 mm do základové desky a připevněn k výztuži pomocí třmínků osazených po 450 mm. Spojení pásu bude zajištěno spojovacím páskem a šrouby. Hutnění obsypu a zásypu nádrže bude prováděno postupně a bez použití těžké techniky, budou dodrženy hodnoty únosnosti zeminy. Na obsyp a zásyp bude použita stávající zemina z výkopu.

3. Základové poměry

Podloží má celkem dvě vrstvy. První vrstva s mocností 4,75 m začíná na úrovni upraveného terénu a končí na úrovni -4,750 m, tato vrstva je definována jako štěrk hlinitý G4-GM a výpočtové parametry zeminy jsou: $\nu=0,3$; $\gamma_z=19$ kN/m³ a $E_{def}=80$ MPa. Druhá vrstva začíná na úrovni -4,750 m pod úrovní upraveného terénu a dále pokračuje do neurčité hloubky, tato vrstva je definována jako hlína štěrkovitá MG a výpočtové parametry zeminy jsou: $\nu=0,35$; $\gamma_z=19$ kN/m³ a $E_{def}=20$ MPa.

Výskyt hladiny podzemní vody se neuvažuje. Základové poměry jsou uvažovány jako jednoduché s tabulkovou výpočtovou únosností $R_{dt} = 350$ kPa. Přetížení v základové spáře je menší, než stávající stav a tudíž nedochází k významnému sedání konstrukce. Parametry C1 a C2 byly ponechány v primárním nastavení pro modul SOILIN, jako obecně doporučované $C1 = 10$ MN/m³ a $C2 = 5$ MN/m³.

4. Zatížení

Jsou uvažovány tři druhy zatížení – stálé, proměnné a reologické účinky od smršťování betonu. Mezi stálé zatížení patří: vlastní tíha konstrukce, která je generována programem a je uvažována objemová tíha betonu $\gamma_c = 25$ kN/m³, zatížení vodou je uvažováno s objemovou tíhou $\gamma_v = 10$ kN/m³ a zatížení zeminou dle výpočtových parametrů zeminy. Proměnné zatížení je uvažováno přetížení provozem $q_k = 5$ kN/m². Tato hodnota vychází z ČSN EN 1991-1-1, dopravní a parkovací plochy pro středně těžká vozidla ($30 \text{ kN} < \text{celková tíha vozidla} < 160 \text{ kN}$), daná hodnota byla zvolena z důvodu výskytu vozidel, která budou zaparkována pod přístřeškem nad nádrží. Zatížení smršťováním je uvažováno z důvodu rozdílné betonáže základové desky a přilehlých stěn, kdy stěny jsou betonovány po 14 dnech od vybetonování základové desky, stěny i deska budou ošetřovány 5 dnů po vybetonování. Vypočtený rozdíl poměrných přetvoření od smršťování je převeden na teplotní rozdíl a tímto teplotním rozdílem jsou zatíženy (ochlazeny) stěny konstrukce, aby došlo ke zpřesnění výpočtu vnitřních sil. Hodnoty zatížení jsou do programu zadávány v charakteristických hodnotách a dále v kombinacích jsou uvažovány součinitele $\gamma_c = 1,35$ pro stálé složky zatížení a $\gamma_q = 1,50$ pro proměnné zatížení, reologické účinky od smršťování nejsou násobeny žádným součinitelem. Klimatické zatížení sněhem není uvažováno, jelikož objekt se nachází pod přístřeškem pro parkování vozidel. Založení objektu je v dostačující nezámrzné hloubce dané lokality

5. Materiál

Nádrž bude zhotovena z betonu **C30/37 – XD2 – D_{max} 22 mm – S3 – max. průsak 50 mm**, třída prostředí XD2 - mokré, zřídka suché prostředí, konzistence betonu podle sednutí kužele S3 (100 – 150 mm) a maximální průsak vody 50 mm. Charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku $f_{ck} = 30$ MPa a návrhová válcová

pevnost v tlaku $f_{cd} = 20$ MPa, návrhový součinitel pro beton $\gamma_c = 1,50$. Použitá výztuž bude z betonářské oceli B500B, charakteristická pevnost oceli v tahu $f_{yk} = 500$ MPa a návrhová pevnost oceli v tahu $f_{yd} = 434,8$ MPa, návrhový součinitel pro ocel $\gamma_s = 1,50$ a modul pružnosti $E_s = 200$ GPa. Těsnění pracovní spáry bude provedeno pomocí těsnícího pásu z polotvrdého PVC-P a bobtnavé gumy s vysokým expanzním objemem.

6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo provést návrh a posouzení výztuže nádrže na působící zatížení tak, aby byly splněny podmínky mezního stavu únosnosti a mezního stavu použitelnosti – mezního stavu trhlin s omezením na $w_k = 0,3$ mm. Po vhodně zvoleném zatížení konstrukce byl proveden výpočet vnitřních sil pomocí softwaru Scia Engineer 16.1. a tyto síly byly porovnány s ručním výpočtem. Byl vypracován výkres tvaru a výkres výztuže dle zadání. Návrh a posouzení jsou provedeny dle platných norem a navržená konstrukce splňuje požadavky na mezní stavy únosnosti a použitelnosti.

Použitá literatura

Platné normy:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1 až 4: Zatížení stavebních konstrukcí
- [3] ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [4] ČSN EN 1992-3: Navrhování betonových konstrukcí – Část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky

Ostatní literatura:

- [5] ZICH, Miloš a kol. *Příklady posouzení betonových prvků dle Eurokódů*. Verlag Dashofer, nakladatelství, s. r. o., Praha 2010.
- [6] POCHÁZKA, Jaroslav a kol. *Navrhování betonových konstrukcí 1. Prvky z prostého a železového betonu: dimenzování prvků s přihlédnutím k EN 1992-1-1*. Třetí vydání, druhý dotisk, ČBS Servis, s. r. o., Praha 2009.
- [7] BAREŠ, Richard A. *Tabulky pro výpočet desek a stěn*. Třetí, nezměněné vydání, SNTL, Praha 1989.
- [8] ZICH, Miloš, BAŽANT Zdeněk. *Plošné betonové konstrukce, nádrže a zásobníky*. Akademické nakladatelství CERM, Brno 2010.
- [9] WEIGLOVÁ, Kamila. *Mechanika zemin – modul BF02-M03, Praktické aplikace mechaniky zemin I*. Akademické nakladatelství CERM, Brno 2005.
- [10] Podklady firmy PREFAB BRNO.
- [11] Podklady firmy KORN spol. s. r. o.

Použitý software

- Nemetschek Group: Scia Engineer 16.1
- Autodesk: AutoCAD 2016
- Microsoft Corp.: MS Word 2010, MS Excel 2010

Použité značky

b – šířka založení [m]

b – šířka vnitřního dna nádrže [m]

b_{celk} – celková šířka nádrže [m]

b_s – tloušťka stěny nádrže [m]

c_{min} – minimální hodnota tloušťky krycí vrstvy [mm]

$c_{\text{min},b}$ – minimální hodnota tloušťky krycí vrstvy dle profilu výztuže a velikosti kameniva

$c_{\text{min},\text{dur}}$ – minimální hodnota tloušťky krycí vrstvy dle konstrukční třídy [mm]

c_{nom} – jmenovitá (nominální) hodnota tloušťky betonové krycí vrstvy [mm]

h – hloubka založení [m]

d – účinná výška výztuže [mm]

d_1 – poloha těžiště výztuže [mm]

f_{cd} – návrhová pevnost betonu v tlaku [MPa]

f_{ck} – charakteristická pevnost betonu v tlaku [MPa]

f_{ctm} – střední pevnost betonu v tahu [MPa]

$f_{\text{ctm}(t)} = f_{\text{ct},\text{eff}}$ – střední pevnost betonu v tahu v čase t [MPa]

f_{yd} – návrhová pevnost oceli v tahu [MPa]

f_{yk} – charakteristická pevnost oceli v tahu [MPa]

$g_{k,z}$ – stálé zatížení od zeminy [kN/m²]

$g_{k,v}$ – stálé zatížení od odpadních vod [kN/m²]

$g_{k,a}$ – přetížení provozem [kN/m²]

g_p – stálé zatížení od panelů [kN/m²]

h – hloubka vrstvy zeminy [m]

$h_{\text{c,eff}}$ – efektivní výška betonového průřezu [m]

h_{cr} – výška tlačené oblasti bezprostředně před vznikem trhliny [m]

k_c – součinitel pro prostý tah

l – délka založení [m]

q_k – užité zatížení dle ČSN EN 1991-1-1 [kN/m²]

w_k – šířka trhliny [mm]

x – poloha neutrální osy [mm]

$x_{\text{bal},1}$ – vzdálenost neutrální osy od okraje tlačného průřezu [mm]

s – vodorovná vzdálenost výztuže [m]

x_i – těžiště ideálního průřezu [m]

$z_{\text{š}}$ – zatěžovací šířka [m]
 z_c – rameno vnitřních sil [mm]
 Δc_{dev} – přídavek na návrhovou odchylku [mm]
 A – posuzovaná plocha [m²]
 A_{cc} – plocha posuzovaného betonového průřezu [mm²]
 A_i – plocha ideálního průřezu [mm²]
 A_s – plocha výztuže [mm²]
 $A_{s,\text{max}}$ – maximální plocha výztuže [mm²]
 $A_{s,\text{min}}$ – minimální plocha výztuže [mm²]
 E_{cm} – střední hodnota modulu pružnosti betonu v tlaku [GPa]
 E_s – modul pružnosti oceli v tahu [MPa]
 I_i – moment setrvačnosti ideálního průřezu [mm⁴]
 K_0 – součinitel pro zemní tlak v klidu [-]
 M_{Ed} – návrhový moment [kNm]
 M_{Rd} – moment na mezi únosnosti [kNm]
 R_{dt} – tabulková výpočtová únosnost zeminy [kPa]
 ΣF – součet sil působících na podloží [kN]
 α_e – poměr modulů pružnosti betonu a oceli [-]
 γ_z – objemová tíha zeminy [kN/m³]
 γ_c – dílčí součinitel spolehlivosti materiálu pro beton [-]
 γ_s – dílčí součinitel spolehlivosti materiálu pro ocel [-]
 γ_v – objemová tíha odpadních vod [kN/m³]
 ϵ_{cs} – poměrné přetvoření betonu od smršťování [-]
 ϵ_{cd} – poměrné přetvoření betonu od vysychání [-]
 ϵ_{ca} – poměrné přetvoření betonu od autogenní reakce [-]
 ϵ_{cu3} – maximální poměrné přetvoření betonu v tlaku [‰]
 ϵ_s – průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže [-]
 ϵ_{yd} – poměrné přetvoření oceli [‰]
 ρ – objemová tíha železobetonu [kN/m³]
 σ_{ol} – přetížení v základové spáře [kPa]
 σ_s – napětí ve výztuži při vzniku trhlin [kPa]
 σ_{zk} – napětí v základové spáře [kPa]
 σ_{c1} – napětí na spodních vláknech betonu [kPa]
 σ_{c2} – napětí na horních vláknech betonu [kPa]

Φ_s^* – průměrný prut výztuže [mm]

Φ – průměr prutu výztuže [mm]

Seznam příloh

P1) Výkresová dokumentace

P2) Statický výpočet